

INSTALACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN EL HELICÓPTERO BE- X3 PARA MAYOR AUTONOMIA DE VUELO

EDWARD LEONARDO BOLÍVAR BUITRAGO
ANDRÉS FELIPE CAMACHO CASTRO



Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Aeronáutica
Bogotá D.C.
2014

INSTALACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS EN EL HELICÓPTERO BE- X3 PARA MAYOR AUTONOMIA DE VUELO

EDWARD LEONARDO BOLÍVAR BUITRAGO
ANDRÉS FELIPE CAMACHO CASTRO

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Aeronáutico

Director: Jesús Alberto Barón Cruz



Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Aeronáutica
Bogotá D.C.
2014

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bogotá D.C.

DEDICATORIA

Son muchas las personas especiales a las que quisiera agradecer por su amistad, apoyo, ánimo y compañía en las diferentes etapas de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en el corazón. Sin importar en donde estén o si alguna vez llegan a leer esta dedicatoria quiero darles gracias por formar parte de mí, por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones en especial a mi Mama, Abuelos y Hermanas.

Leonardo Bolívar

En primer lugar dedico este trabajo a Dios, por la oportunidad que me dio de llegar a este punto y brindarme salud, sabiduría y constancia, para lograr los objetivos propuestos en el comienzo de esta carrera, por su bondad e infinito amor; de igual manera a mis padres por su incondicional apoyo, paciencia y sacrificio los cuales fueron de ánimo para realizar esta meta y cada una de las personas, que creyeron y fueron parte esencial en ese proceso.

Andrés Camacho

AGRADECIMIENTOS

Nos complace de sobre manera a través de este trabajo exteriorizar nuestros sinceros agradecimientos a la Fundación Universitaria Los Libertadores al programa de Ingeniería Aeronáutica y en ella a los distinguidos docentes quienes con su profesionalismo y ética enrumban a cada uno de los que acudimos con sus conocimientos que nos servirán para ser útiles a la sociedad.

Al Ingeniero John Jairo Vaca y a nuestro Director Ingeniero Jesús Alberto Barón Cruz quienes con su experiencia como docentes han sido la guía idónea, durante el proceso que ha llevado el realizar este proyecto, nos han brindado su tiempo y la información para que este anhelo llegue a ser felizmente culminado.

CONTENIDO

DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
GLOSARIO	11
RESUMEN.....	15
INTRODUCCIÓN.....	16
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
2. JUSTIFICACIÓN	18
3. OBJETIVOS	19
3.1.1. OBJETIVO GENERAL.....	19
3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
4. MARCO REFERENCIAL	20
4.1. MARCO CONCEPTUAL	20
4.1.1. ENERGÍA SOLAR.....	20
4.1.2. CELDAS SOLARES.....	22
4.1.3. BATERÍA ELÉCTRICA.....	23
4.1.4. HELICOPTERO	24
4.2. MARCO LEGAL.....	28
4.2.1. AEROMODELISMO	28
4.2.2. NORMATIVIDAD ENERGIA FOTOVOLTAICA	29
4.3. MARCO INSTITUCIONAL	31
4.3.1. CONTEXTO HISTÓRICO INSTITUCIONAL.....	31
4.3.2. NATURALEZA JURÍDICA Y ONTOLÓGICA	32
4.3.3. INGENIERIA AERONAUTICA.....	33
5. METODOLOGIA.....	35
5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	35
5.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	35
5.3. HIPOTESIS	35
5.4. VARIABLES	35

5.4.1.	VARIABLES INDEPENDIENTES	35
5.4.2.	VARIABLES DEPENDIENTES	36
5.5.	LIMITACIONES Y ALCANCES	36
5.5.1.	LIMITACIONES	36
5.5.2.	ALCANCE	36
6.	ANALISIS DOCUMENTAL SOBRE EL MANEJO E INSTALACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS.....	37
6.1.	CELDA FOTOVOLTAICA	37
6.2.	FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA	38
6.3.	TECNOLOGÍAS EN LA FABRICACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS	38
6.4.	CARACTERÍSTICAS DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO	42
6.5.	ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR.....	46
6.5.1.	REGULADOR DE CARGA O CONTROLADOR DE CARGA	46
6.5.2.	BATERÍAS.....	47
6.6.	SISTEMA DE PROPULSIÓN Y SUS COMPONENTES.....	48
6.6.1.	MOTORES ELECTRICOS.....	48
6.6.2.	ELECTRONIC SPEED CONTROLLER.....	49
6.7.	CELDA FOTOVOLTAICAS SELECCIONADAS PARA EL HELICOPTERO BE-X350	
7.	CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL FUSELAJE DEL HELICÓPTERO BE-X3.....	52
7.1.	CALCULO DEL AREA DE INSTALACION	53
7.2.	NUMERO DE CELDAS A INSTALAR EN EL FUSELAJE	54
8.	PESO Y BALANCE	56
9.	COMPROBACION DE LA HIPOTESIS	59
10.	CONCLUSIONES.....	65
11.	RECOMENDACIONES	66
12.	BIBLIOGRAFÍA	67

LISTA DE IMÁGENES

<i>Imagen 1: Flettner FL282 Kolibri.....</i>	<i>25</i>
<i>Imagen 2: Helicóptero mono rotor.....</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 3: Birrotor en tándem (twin tándem).....</i>	<i>26</i>
<i>Imagen 4: Birrotor lado a lado (twin side by side).....</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 5: Birrotor con dos ejes distintos cruzándose (twin intermeshing).....</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 6: Birrotor coaxial (twin coaxial).....</i>	<i>27</i>
<i>Imagen 7: Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 8: Celda Fotovoltaica de Silicio Poli cristalino.....</i>	<i>37</i>
<i>Imagen 9: Panel Solar de Silicio Mono Cristalino</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 10: Panel Solar de Silicio Poli Cristalino</i>	<i>39</i>
<i>Imagen 11: Celda Fotovoltaica Orgánica.....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 12: Láminas Fotovoltaicas de Película Delgada (thin-film).....</i>	<i>41</i>
<i>Imagen 13: Elementos de un Panel Fotovoltaico.....</i>	<i>42</i>
<i>Imagen 15: Motor RimFire.25.....</i>	<i>48</i>
<i>Imagen 16: ESC (Electronic Speed Controller).....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen 14:RC7.2-75 PSA Células Solares Flexibles 7.2V @ 100mA.....</i>	<i>50</i>
<i>Imagen 17: Modelo Solid Edge Helicóptero BE-X3.....</i>	<i>52</i>
<i>Imagen 18: Modelo de dimensionamiento BE-X3.....</i>	<i>53</i>
<i>Imagen 19: Instalación de paneles Fotovoltaicos en el Fuselaje</i>	<i>55</i>

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 3: Características de la celda RC7.2-75 PSA</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 4: Características Motor Rimfire.25.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 5: Área disponible Fuselaje BE-X3</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 6: Peso y Balance en vacío.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 7: Pesos y Balance BE-X3 con sus Componentes</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8: Datos Básicos BE-X3.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabla 9: Resultados de Potencia Obtenidos.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabla 10: Características Baterías.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 11: Porcentaje de Eficiencia de los Componentes de Propulsión</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 12: Resultados de Tiempo de Vuelo con Baterías</i>	<i>62</i>
<i>Tabla 13: Resultados de Tiempo de Vuelo</i>	<i>63</i>

LISTA DE GRÁFICAS

<i>Gráfica 1: Caracterización V-I de un panel fotovoltaico</i>	<i>44</i>
<i>Gráfica 2: Efecto de temperatura en la curva característica I-V en un módulo solar</i>	<i>45</i>
<i>Gráfica 3: Tiempos de Vuelo</i>	<i>64</i>

GLOSARIO

MONO CRISTALINO: Un solo tipo de red cristalina siendo sistemas homogéneos de grano único. Sin discontinuidades. Alta resistencia y baja capacidad de deformación.

POLICRISTALINO: Tienen más de un tipo de ordenamiento o estructura cristalina. Cada una de esas estructuras se llama granos. Estos se van ordenando en forma regular. Durante la solidificación hay competencia entre los cristales para ocupar el mayor espacio posible.

RADIACION: El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

POTENCIA PICO: Se define como la máxima potencia eléctrica que éste puede generar bajo condiciones estándares de medida

NOTAR: Acrónimo en inglés de no tail rotor, en español: sin rotor de cola¹

CORRIENTE DE OSCURIDAD: Es una corriente eléctrica relativamente pequeña que fluye a través de dispositivos fotosensibles, cuando no está recibiendo luz.

CONDICIONES DE PRUEBA ESTÁNDAR: condiciones en las cuales se prueban los módulos fotovoltaicos en laboratorio (1 kwh/m2 de radiación solar, 25°C de temperatura de la celda solar y espectro solar correspondiente a una masa de aire de 1.5)

CONEXIÓN EN PARALELO: método de conexión en el cual todos los bornes positivos y negativos se juntan. Si los módulos son todos iguales, la corriente se suma y la tensión permanece igual.

CONEXIÓN EN SERIE: método de conexión en el cual el borne positivo de un módulo se conecta al borne negativo del siguiente y así sucesivamente. Si los módulos son todos iguales, el voltaje se suma y la corriente permanece igual.

¹ Jorge García de la Cuesta Terminología aeronáutica

CONSTANTE SOLAR: cantidad de energía solar que incide sobre una superficie de 1 m² por segundo, cuando ésta se halla en el tope de la atmósfera a la distancia medio sol-tierra. Su valor es aproximadamente 1.36 kw/m².

CONSUMO ELÉCTRICO: número de watts hora (wh) o kilowatts hora (kwh) utilizados para que funcione un aparato eléctrico durante un tiempo. Depende de la potencia del aparato y del tiempo que esté funcionando.

CORRIENTE ALTERNA: en la corriente alterna (ca o ac, en inglés) los electrones, a partir de su posición fija en el cable (centro), oscilan de un lado al otro de su centro, dentro de un mismo entorno o amplitud, a una frecuencia determinada (número de oscilaciones por segundo)

CORRIENTE CONTINUA: la corriente continua (cc o dc, en inglés) se genera a partir de un flujo continuo de electrones (cargas negativas) siempre en el mismo sentido, el cual va desde el polo negativo de la fuente al polo positivo. Al desplazarse en este sentido los electrones, los huecos o ausencias de electrones (cargas positivas) lo hacen en sentido contrario, es decir, desde el polo positivo al negativo.

CURVA I-V: característica intensidad vs. voltaje tomada bajo condiciones determinadas de radiación. Es la información esencial para caracterizar a los módulos fotovoltaicos.

HORAS DE SOL PICO: número equivalente de horas a 1 kwh/m² de radiación solar que produce la misma cantidad de energía solar que bajo las condiciones reales de insolación.

MÓDULO O MÓDULO SOLAR FOTOVOLTAICO: conjunto de celdas solares interconectadas dentro de una unidad sellada.

NOCT (NOMINAL OPERATION CELL TEMPERATURE): es la temperatura que alcanza la celda cuando ésta se expone a 800 w/m² de radiación en un ambiente con aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de 1 m/s, cuando la celda está en circuito abierto.

RADIACIÓN DIFUSA: radiación proveniente del cielo como resultado de la dispersión de la radiación solar por la atmósfera.

VOLTAJE DE CIRCUITO ABIERTO: voltaje que se mide en los terminales sin carga de un sistema fotovoltaico.

VOLTAJE DE MÁXIMA POTENCIA: voltaje correspondiente al punto de máxima potencia.

WATT PICO: unidad de medida de un módulo solar fotovoltaico, que significa la cantidad de potencia máxima que puede generar el módulo a condiciones estándar de funcionamiento (1000 w/m², 25°C y 1.5 de masa de aire).

NOMENCLATURA

- A_c : Área superficial de la célula
- G : Irradiación en condiciones estándar (CEM)
- I : Corriente entregada por la célula
- I_0 : Corriente inversa de saturación de una célula
- I_L : Intensidad suministrada por la célula
- I_{mpp} : Intensidad máxima de la célula
- I_{sc} : Corriente de cortocircuito de una célula
- k : Constante de Boltzman ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K)
- kWp : Kilo ($\times 10^3$) Watt
- MWp : Mega ($\times 10^6$) Watt
- m : Factor de idealidad ($1 < m < 2$)
- N_{sc} : Número de celdas solares.
- P_L : Potencia entregada por la célula ó potencia luminosa
- P_{max} : Potencia máxima de la célula
- q : Carga del electrón ($1,602 \times 10^{-19}$ C)
- R : Resistencia del receptor
- S_{pv} : Área disponible de trabajo
- T_c : Temperatura de funcionamiento de una célula
- V_L : Tensión del receptor conectado a la célula
- V_{mpp} : Tensión máxima de la célula
- V_{oc} : Tensión de circuito eléctrico de una celda
- V : Tensión entre los extremos de la celda

RESUMEN

El presente proyecto consiste en el uso de energías alternativas, para el mejoramiento ambiental que se viven en el mundo, en donde se toma como prototipo de estudio un helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3), instalando celdas fotovoltaicas las cuales brindan una mayor tiempo de funcionamiento en los motores eléctricos (RIMFIRE .25), por medio de un aumento de carga a dos baterías litio de 2200mAh de 3 celdas, que alimentan los motores.

Se establece como principio el estudio, diseño, elaboración y aplicación de los conocimientos adquiridos en la carrera de ingeniería aeronáutica. Construyendo un criterio analítico y experimental en la investigación de un sistema renovable, que nos genere más autonomía de vuelo para el BE-X3, así como brindar una solución específica en la reducción de gases contaminantes y el costo de operación que se ve involucrada la industria aeronáutica.

Prolongar la duración en vuelo de las aeronaves tanto tripuladas como no tripuladas, que no funcionan con combustible fósiles es la mayor razón de investigación de los centros de estudio y desarrollo aeronáutico en el mundo, buscando energías alternativas que disminuyan los costos de operación. La instalación de celdas fotovoltaicas, brindaron la posibilidad de aprovechar la radiación solar como fuente de energía autosustentable, la cual ha sido parte del origen de vida en nuestro ecosistema.

La instalación de los paneles flexibles fue una gran elección, puesto que soportan más a impactos y se acoplan a superficies curvas sin sufrir daño alguno o afectar su funcionamiento. El número de paneles instalados sin ser un numero grande genero un aumento de la duración de las baterías por lo tanto el funcionamiento de los motores permitiendo estar más tiempo en el aire y recorrer mayor distancia en un vuelo recto.

INTRODUCCIÓN

La evolución que ha tenido la industria aeronáutica, en satisfacer los mercados ha conllevado a buscar nuevas tecnologías que resuelvan las necesidades económicas y prevención del deterioro ambiental.

La energía utilizada en la aviación, es proveniente de combustibles fósiles, los cuales generan un impacto ambiental. Conllevando a la búsqueda de nuevas energías renovables, que no solo permitan resolver la problemática sino que también contribuyan a mitigar los costos operacionales del mercado.

Energías renovables no contaminantes conocidas, de las que se han abarcado estudios siendo solución se encuentran: Energía eólica (empleando el viento), energía geotérmica (utilizando el calor de la Tierra), energía hidráulica o hidroeléctrica, energía mareomotriz (usando los mares y océanos), energía undimotriz (aprovechando las olas), energía fotovoltaica (utilizando la radiación del sol); en donde la utilización de esta última energía por su cualidad como energía renovable más rentable y económica, la emplearemos para un helicóptero “BE-X3” (Bolívar Edward –X3) con configuración bi-rotor lado a lado (twin side by side) de construcción casera, como vehículo aéreo no tripulado.

Se pretende aumentar la autonomía de vuelo, generada por sus baterías de litio del BE-X3, teniendo en cuenta sus limitaciones en las características tanto de diseño, como la instalación de las celdas fotovoltaicas en la aeronave.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la búsqueda de nuevas tecnologías que permitan aumentar los tiempos de vuelo y reducir las emisiones generadas por los combustibles fósiles, es necesario crear nuevos diseños que utilicen diferentes tipos de energía para su funcionamiento, como la energía solar que se puede almacenar para su uso.

Se tiene como ejemplo el helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward –X3), que está dotado con dos motores eléctricos (Rimfire 0.25), los cuales son alimentados por dos baterías de litio de 2200 mAh de 3 celdas, que da un tiempo de vuelo aproximado de 11 minutos haciendo que su misión de vuelo sea interrumpida para que las baterías sean cargadas constantemente.

Si se le implementara un sistema fotovoltaico, que le brindara energía limpia y renovable, aprovechando la radiación solar se aumentaría el tiempo de vuelo.

Lo anterior se lograría desarrollando un proyecto que establezca una visión de estudio, diseño y fabricación, con los conocimientos de la carrera de ingeniería aeronáutica, aplicando criterios analíticos y experimentales en la investigación de un sistema renovable, que genere más autonomía de vuelo para el helicóptero.

Para este proyecto se requiere dar respuesta a la siguiente pregunta:
¿Cómo diseñar e implementar módulos solares fotovoltaicos en el fuselaje del helicóptero BE-X3?

2. JUSTIFICACIÓN

El Sol, como fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el ser humano ha utilizado desde los albores de la historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta; ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia. Utilizar energía solar brinda grandes beneficios como lo pueden ser: medioambientales, económicos, sociales y educativos.

Estos beneficios representan una ayuda contra el cambio climático y el efecto invernadero ya que por cada kilo Watts (kW) generados con energía solar evitamos una gran cantidad de emisiones de Dióxido de Carbono (CO₂), además de la amplia vida útil de las celdas solares que llega a ser de 20 a 30 años.

Esto amplía la funcionalidad que tienen las celdas solares en la industria común y como pueden aplicar a la aeronáutica, además de mostrar lo rentable que puede ser para la aviación en Colombia, puesto que está se encuentra en desarrollo.

Un helicóptero con una mayor autonomía de vuelo podría ser útil en exploración, búsqueda y reconocimiento en zonas de difícil acceso por tierra, para sectores petroleros, militares, civiles, entre otros.

3. OBJETIVOS

3.1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar e implementar modelo fotovoltaico en el helicóptero BE-X3, para obtener ganancia en la autonomía de vuelo generada por el aumento de energía.

3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Realizar análisis documental sobre el manejo e instalación de celdas fotovoltaicas.
- b) Calcular y diseñar la configuración más adecuada para la instalación de los paneles fotovoltaicos en el fuselaje del helicóptero.
- c) Calcular peso y balance, con el peso adicional generado por las celdas fotovoltaicas y sus componentes.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1. MARCO CONCEPTUAL

4.1.1. ENERGÍA SOLAR

Es la energía que recibimos del sol, y cuya primera sensación es la luz del día y el calor. Al ser el espacio una entidad vacía la energía no puede llegar más que a través del fenómeno de la radiación y por ello, de toda la inmensa cantidad de procesos que se generan en el Sol, sólo los que son el resultado de sus emisiones electromagnéticas son los que atraviesan la atmósfera y nos llegan en forma de energía solar.

Si no prestamos mucha atención, de lo que nos llega podemos distinguir fenómenos distintos como la luz y el calor. Si hiciésemos una especie de radio, la tierra y por los océanos, permite una serie de procesos naturales, gráfica detallada nos encontraríamos con que esa energía es la suma de muchas más de dos.

La energía solar desempeña una relación fundamental en nuestras vidas. Cerca del 70% de la energía solar recibida por la tierra es absorbida por la atmósfera como por ejemplo mantener una temperatura promedio, la evaporación, que permite la generación de precipitaciones, movimiento de masas de aire, fotosíntesis, generación de biomasa, etc. Mientras que el 30% restante es reflejado por la atmósfera de regreso al espacio

La energía es transmitida por medio de ondas electromagnéticas presentes en los rayos solares, las cuales son generadas en forma continua y emitida permanentemente al espacio, esta energía la podemos percibir en forma de luz y calor.²

Por otro lado la energía solar es una fuente de energía renovable, inagotable, limpia y sustentable en el tiempo. Producto de la sobreexplotación de recursos no renovables y los efectos generados por su consumo, se puede percibir una reciente conciencia social y de los gobiernos, de sacar provecho de este tipo de energías. Esto es posible de ver por la mayor cantidad de sistemas de generación en base a energías renovables instalados y en proceso de instalación en nuestro, los cuales son utilizados como sistema auxiliar o principal, dependiendo de la ubicación y recursos de quien los utilice

²(Profesor, 2006)

Radiación Directa, es aquella que llega directamente del Sol hasta algún objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido. Este tipo de radiación puede reflejarse y concentrarse para su utilización. Además se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que se interponen en su trayecto.³

Radiación Difusa, corresponde a la radiación emitida por el sol y que sufre alteraciones en su recorrido desde que ingresa a la atmósfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes. Producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía. No proyecta sombra de los objetos que se interponen en su recorrido. Las superficies horizontales son las que más radiación difusa reciben, ya que ven pueden ver el cielo en todas la direcciones, mientras que las verticales reciben menos porque sólo ven la mitad

La radiación es aprovechable en sus componentes directa y difusa, o en la suma de ambas. En un día despejado, la radiación directa es mucho mayor que la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado no existe radiación directa y la totalidad de la radiación incidente corresponde a radiación difusa.

La irradiación directa normal fuera de la atmósfera, recibe el nombre de constante solar y tiene un valor promedio de 1354 W/m^2 , el valor máximo se encuentra en el perihelio (lugar donde un planeta se encuentra más cercano al sol) y corresponde a 1395 W/m^2 , mientras que el valor mínimo se encuentra en el afelio (lugar donde un planeta se encuentra más lejano al sol) y es de 1308 W/m^2 .

Existen distintos tipos de tecnologías que permiten utilizar la energía proveniente del sol, los cuales se nombran a continuación:

- **Energía solar pasiva:** aprovecha el calor del sol sin necesidad de mecanismos o sistemas mecánicos.
- **Energía solar térmica:** aprovecha la energía calórica del sol para calentar algún tipo de fluido a baja temperatura, normalmente agua, para uso sanitario y calefacción, los sistemas utilizados para esto se denominan colectores solares.
- **Energía solar fotovoltaica:** aprovecha la energía lumínica del sol para producir electricidad mediante placas de semiconductores que se alteran con la radiación solar, estos sistemas se llaman Paneles Solares Fotovoltaicos (PFV).

³ (Chile, 2010)

• **Energía solar termoelectrica:** aprovecha la energía calórica para producir electricidad, esto se logra a través de un ciclo termodinámico convencional, mediante el cual se calienta algún tipo de fluido a alta temperatura (aceite térmico).

• **Energía solar híbrida:** consiste en utilizar además de la energía solar, otro tipo de energía. Esto se conoce como hibridación y dependiendo con el tipo de energía que se combine será:

- Renovable: biomasa, energía eólica.
- Fósil.

• **Energía eólico solar:** consiste en utilizar el aire calentado por el sol, para hacer girar unos generadores ubicados en la parte superior de una chimenea.⁴

4.1.2. CELDAS SOLARES

Las células o celdas solares son dispositivos que convierten energía solar en electricidad, ya sea directamente vía el efecto fotovoltaico, o indirectamente mediante la previa conversión de energía solar a calor o a energía química.

La forma más común de las celdas solares se basa en el efecto fotovoltaico, en el cual la luz que incide sobre un dispositivo semiconductor de dos capas produce una diferencia de foto voltaje o del potencial entre las capas. Este voltaje es capaz de conducir una corriente a través de un circuito externo de modo de producir trabajo útil.

4.1.2.1. LOS ORÍGENES DE CELDAS SOLARES

Aunque las celdas solares eficientes han estado disponibles recién desde mediados de los años 50, la investigación científica del efecto fotovoltaico comenzó en 1839, cuando el científico francés, Henri Becquerel descubrió que una corriente eléctrica podría ser producida haciendo brillar una luz sobre ciertas soluciones químicas.

El efecto fue observado primero en un material sólido (el metal selenio) en 1877. Este material fue utilizado durante muchos años para los fotómetros, que requerían de cantidades muy pequeñas de energía. Una comprensión más profunda de los principios científicos, fue provista por Albert Einstein en

⁴ (Chile, 2010)

1905 y Schottky en 1930, la cual fue necesaria antes de que celdas solares eficientes pudieran ser confeccionadas. Una célula solar de silicio que convertía el 6% de la luz solar que incidía sobre ella en electricidad fue desarrollada por Chapin, Pearson y Fuller en 1954, y esta es la clase de célula que fue utilizada en usos especializados tales como satélites orbitales a partir de 1958. Las celdas solares de silicio disponibles comercialmente en la actualidad tienen una eficiencia de conversión en electricidad de la luz solar que cae sobre ellas de cerca del 18%, a una fracción del precio de hace treinta años.⁵

4.1.3. BATERÍA ELÉCTRICA

Se denomina batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que consiste en una o más celdas electroquímicas que pueden convertir la energía química almacenada en electricidad. Cada celda consta de un electrodo positivo, o ánodo y un electrodo negativo, o cátodo y electrolitos que permiten que los iones se muevan entre los electrodos, facilitando que la corriente fluya fuera de la batería para llevar a cabo su función.

Las baterías vienen en muchas formas y tamaños, desde las celdas en miniatura que se utilizan en audífonos y relojes de pulsera, a los bancos de baterías del tamaño de las habitaciones que proporcionan energía de reserva a las centrales telefónicas y ordenadores de centros de datos.

4.1.3.1. PILA, BATERÍA Y ACUMULADOR

Tanto pila como batería son términos provenientes de los primeros tiempos de la electricidad, en los que se juntaban varios elementos o celdas, para ampliar los efectos de la corriente. En un caso se ponían uno encima de otro, se apilaban, y de ahí viene pila, y en otro caso se ponían uno junto a otro, en batería.

Al contrario que en el inglés, en que se llama a todas battery, en el castellano de España y otros países, se ha tomado el término batería (y acumulador) para las recargables, y pila para las no recargables, lo que ayuda a distinguirlas sin necesidad de un calificativo. En muchos países hispanohablantes, en cambio, se emplea la palabra batería para los dos

⁵ (Textos Científicos, 2005)

tipos, por lo que es necesario añadir un calificativo (recargable o no recargable, primario o secundario).⁶

4.1.4. HELICOPTERO

La palabra helicóptero proviene de las palabras griegas Helix y Pteron (ala en hélice) y fue acuñada por el francés Gustave de Ponton d'Amecourt como hélicoptère.

Un helicóptero es una aeronave dotada de unas alas giratorias (rotor) que le proporcionan sustentación y a la misma vez la propulsión necesaria para su desplazamiento. Los helicópteros están clasificados como aeronaves de alas giratorias para distinguir los helicópteros de las aeronaves de ala fija porque los helicópteros crean sustentación con las palas que rotan alrededor de un eje vertical.

Cerca del año 400 A. C., los chinos diseñaron un «trompo volador», juguete que consistía en un palo con una hélice acoplada a un extremo que, al girar entre las manos, se elevaba a la vez que giraba rápidamente; sería el primer antecedente del fundamento del helicóptero.

Hacia el año 1490, Leonardo da Vinci fue la primera persona que diseñó y dibujó en unos bocetos un artefacto volador con un rotor helicoidal, pero hasta la invención del avión motorizado en el siglo XX no se iniciaron los esfuerzos dirigidos a lograr una aeronave de este tipo. El primer vuelo de un helicóptero medianamente controlable fue realizado por el argentino Raúl Pateras de Pescara en 1916 en Buenos Aires, Argentina.⁷

⁶ (Wikipedia, 2014)

⁷ (Wikipedia, Wikipedia, 2014)

Imagen 1: Flettner FL282 Kolibri



Fuente: (Wikipedia, Wikipedia, 2014)

La Alemania nazi usó el helicóptero a pequeña escala durante la Segunda Guerra Mundial. Modelos como el Flettner FL 282 Kolibri fueron usados en el Mar Mediterráneo. La producción en masa del Sikorsky XR-4 comenzó en mayo de 1942 gracias a la armada de los Estados Unidos. El aparato fue usado para operaciones de rescate en Birmania. También fue utilizado por la Royal Air Force. La primera unidad británica en ser equipada con helicópteros fue la escuela de entrenamiento para Helicópteros (Helicopter Training School, en inglés) constituida en enero de 1945 en Andover, con nueve helicópteros Sikorsky R-4B Hoverfly I.

4.1.4.1. ROTOR

Las palas del rotor tienen una forma aerodinámica similar a las alas de un avión, es decir, curvadas formando una elevación en la parte superior, y lisas o incluso algo cóncavas en la parte inferior (perfil alar). Al girar el rotor esta forma hace que se genere sustentación, la cual eleva al helicóptero. La velocidad del rotor principal es constante, y lo que hace que un helicóptero ascienda o descienda es la variación en el ángulo de ataque que se da a las palas del rotor: a mayor inclinación, mayor sustentación y viceversa.

Una vez en el aire, el helicóptero tiende a dar vueltas sobre su eje vertical en sentido contrario al giro del rotor principal gracias al efecto par motor. Para evitar que esto ocurra, los helicópteros disponen en un lado de su parte posterior de un rotor más pequeño, denominado rotor de cola, dispuesta verticalmente, que compensa con su empuje la tendencia a girar del aparato y lo mantiene en una misma orientación.

Hay helicópteros que no tienen rotor de cola, sino que tienen dos rotores principales dispuestos de forma coaxial, en tándem o entrelazados. En este caso, ambos rotores giran en direcciones opuestas y no se necesita el efecto «antipar» del rotor de cola como en los helicópteros de un solo rotor ya que un rotor cancela el del otro. Otro sistema que hace carecer del rotor de cola es el sistema NOTAR, consiguiendo contrarrestar el efecto par motor mediante una salida de aire a presión en el extremo del botafón de cola.

Existen muchas configuraciones posibles como las nombradas a continuación:

Imagen 2: Helicóptero mono rotor.



Fuente: (Barcala Montejano & Rodríguez Sevillano, 2007)

Imagen 3: Birrotor en tándem (twin tándem).



Fuente: (Barcala Montejano & Rodríguez Sevillano, 2007)

Imagen 4: Birrotor lado a lado (twin side by side).



Fuente: (Barcala Montejano & Rodriguez Sevillano, 2007)

Imagen 5: Birrotor con dos ejes distintos cruzándose (twin intermeshing).



Fuente: (Barcala Montejano & Rodriguez Sevillano, 2007)

Imagen 6: Birrotor coaxial (twin coaxial).



Fuente: (Barcala Montejano & Rodriguez Sevillano, 2007)

4.2. MARCO LEGAL

En los Reglamentos Aeronáuticos de Colombia (RAC), no existe ninguna prohibición o impedimento para la realización de labores de fotografía aérea con vehículos aéreos no tripulados, (UAV) siempre y cuando se respeten las limitaciones allí contenidas.

En efecto, el numeral 4.258.2., de los citados reglamentos, preceptúa:

“Otras operaciones. La operación de cualquier otro equipo de vuelo no tripulado radio controlado, con fines no deportivos, tales como teledetección, fotografía, o televisión, estará sometida a las condiciones anteriores; salvo permiso especial de la Dirección de Operaciones Aéreas.”

Las “condiciones anteriores” aludidas en esta norma, son las señaladas en el numeral 4.25.8., que le precede, el cual dispone:

4.2.1. AEROMODELISMO⁸

Los aeromodelos, no son considerados aeronaves, y en consecuencia no están, de manera general, sometidos a las disposiciones aeronáuticas; no obstante, para la ocupación del espacio aéreo por parte de tales artefactos, sus operadores deberán tomar en cuenta las siguientes limitaciones:

- a) No se podrá volar aeromodelos sobre áreas ni edificaciones o directamente sobre público o aglomeraciones de personas.
- b) No podrán volarse aeromodelos, de ningún otro modo que se pueda crear un riesgo para las personas o propiedades en la superficie; particularmente cuando el viento fuerte o cualquier otro factor meteorológico, así como desperfectos mecánicos del aparato o del equipo de control, o falta de pericia del operador puedan ocasionar que se pierda el control total sobre el mismo.
- c) El peso máximo permitido para cualquier aeromodelo será de 25 Kg. No deberán volarse en el espacio aéreo colombiano aparatos con peso superior, a menos que se informe sobre su existencia y propietario a la Dirección de Operaciones Aéreas y este cuente con un seguro de responsabilidad por eventuales daños a terceros.

⁸ (Reglamentos Aeronauticos de Colombiano PARTE 4, pág. 622)

- d) No podrán utilizarse hélices metálicas de ningún tipo.
- e) Ningún aeromodelo podrá portar pesos útiles, diferentes a los elementos habitualmente requeridos para la práctica de ese deporte.
- f) Ningún Aeromodelo será volado desde un aeropuerto real o en sus proximidades dentro de un radio de 5 Km. a la redonda, a menos que exista un permiso especial de la Dirección de Operaciones Aéreas de la UAEAC.
- g) Ningún aeromodelo será volado a una altura superior a 500 pies sobre el terreno.
- h) No deberá volarse ningún aeromodelo de modo que se aleje más de 750 metros de distancia del aeromodelista que lo opera ni del lugar de su lanzamiento o despegue.
- i) Ningún aeromodelo será volado de modo que no exista o se pierda el contacto visual con quién lo opera. No deberán efectuarse tales operaciones cuando la visibilidad o las condiciones de luz solar se reduzcan de modo tal que se impida dicho contacto visual.

Como puede apreciarse, las normas en cuestión luego de considerar que los aeromodelos empleados con fines deportivos o recreativos no son aeronaves, les señalan una serie de limitaciones para permitirles utilizar el espacio aéreo y luego se extienden a cualquier otro aparato radio-controlado no tripulado que también ocupe el espacio aéreo con otros fines no deportivos como le es la fotografía aérea con UAV'S admitiendo sus operaciones siempre que se sometan a esas mismas limitaciones.

4.2.2. NORMATIVIDAD ENERGIA FOTOVOLTAICA

La normatividad vigente en Colombia para sistemas de energía solar, según las normas técnicas colombianas publicadas por el ICONTEC. Se distinguen dos grandes grupos de normas: aquellas que tratan sobre sistemas de energía solar, se refieren a colectores solares, es decir dispositivos para convertir la energía solar en energía térmica; y aquellas que tratan sobre sistemas fotovoltaicos, que permiten convertir la energía lumínica (y por tanto solar) en energía eléctrica.

El ICONTEC ha publicado un número relativamente amplio de normas sobre energía solar, la mayor parte de ellas enfocadas en procedimientos para realizar ensayos en estos sistemas. Una buena parte de las normas sobre

colectores solares fue publicada a comienzos de los 90's, mientras que las normas sobre sistemas fotovoltaicos comenzaron a publicarse en 2005.⁹

Algunos ejemplos de esta normatividad serán presentados a continuación:

NTC 5627, COMPONENTES DE ACUMULACIÓN, CONVERSIÓN Y GESTIÓN DE ENERGÍA DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS. CALIFICACIÓN DEL DISEÑO Y ENSAYOS AMBIENTALES (29/10/2008):¹⁰

La actual norma establece algunos requisitos para la clasificación del diseño, de los componentes de acumulación, conversión y gestión de energía de sistemas fotovoltaicos. Se centra principalmente en componentes solares específicos tales como baterías, inversores (onduladores), controladores de carga, conjuntos de diodos, radiadores, limitadores de tensión, cajas de conexiones y dispositivos de rastreo del punto de máxima potencia, pero puede aplicarse a otros componentes complementarios del sistema.

NTC 4405, EFICIENCIA ENERGÉTICA. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS Y SUS COMPONENTES (24/06/1998):¹¹

La presente norma hace referencia a la metodología para la evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos, distribuyéndose en tres etapas: etapa de paneles o módulos, etapa de regulación y etapa de acumulación.

NTC 5710 PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PRODUCTORES DE ENERGÍA (30/09/2009):¹²

Esta norma establece algunos métodos para proteger los sistemas fotovoltaicos productores de energía de sobretensiones, independiente de si son autónomos o si están conectados a la red de distribución del sistema de potencia.

⁹ (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico, 2012)

¹⁰ (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES, 2008)

¹¹ (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES, 1998)

¹² (INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIONES, 2009)

4.3. MARCO INSTITUCIONAL

4.3.1. CONTEXTO HISTÓRICO INSTITUCIONAL

La Fundación Universitaria Los Libertadores, en cumplimiento de la Ley 30 de 1992 de la Educación Superior, ha desarrollado, durante sus veintisiete años de historia, diversas estrategias para fomentar la investigación tanto formativa como científica, así como el desarrollo tecnológico.

Como ejemplo de una de esas estrategias, recientemente, la institución optó por crear un fondo para financiar proyectos de investigación presentados, dirigidos y liderados, inicialmente, tanto por profesores contratados de tiempo completo como a catedráticos. Fue así como a finales de 1997 realizó, en cabeza del Departamento de Investigación, la Convocatoria denominada Pablo Oliveros Marmolejo para invertir en el desarrollo de proyectos de investigación aplicada.

Observando el surgimiento de esta oportunidad y conscientes del problema que existe en el contexto de la educación superior tanto en la comprensión lectora como en la producción de textos escritos, a mediados del año 2008 se constituyó con profesores del Área de Expresión de la facultad de Ciencias de la Comunicación de la Fundación Universitaria Los Libertadores, el grupo de Investigación CON-TEXTOS ACADÉMICOS con el objetivo de realizar y proponer un proyecto de investigación aplicada dirigido a contribuir a la solución del problema identificado para concursar en la convocatoria planeada para finales de ese mismo año en la Línea de investigación denominada MEDIOS, MEDIACIONES Y PEDAGOGÍAS.

El proyecto diseñado para ser desarrollado por el grupo de investigación a mediano plazo (cinco años) recibió el nombre de Comprensión Lectora y Producción de Textos en el Contexto de la Educación Superior y fue dividido en TRES FASES, cada una dividida en dos etapas que a su vez cuenta con diversos momentos.

A finales del 2008, usando la metodología propuesta por COLCIENCIAS para la presentación de proyectos, se participó en la convocatoria mencionada con el proyecto titulado EVALUACIÓN DE NIVELES DE COMPRENSIÓN LECTORA EN LA EDUCACIÓN SUPERIOR que después de haber sido seleccionado por los pares internos y enviado a evaluación por parte de pares externos, fue aprobado para ser desarrollado durante el año 2009.

En enero 26 del año 2009, el Consejo Superior de la Fundación Universitaria Los Libertadores aprobó el acuerdo 005 por el cual creó y reglamentó el

Sistema General de Investigaciones de esta Institución de Educación Superior como un mecanismo que busca favorecer la consolidación de una comunidad científica y de una cultura investigativa.

En este documento “se concibe la investigación como una actividad académica plural en cuanto a enfoques y metodologías, ajustadas a una visión de pertinencia respecto del avance del conocimiento y de las características de los problemas del medio que busca abordar”.¹³

4.3.2. NATURALEZA JURÍDICA Y ONTOLÓGICA

La Fundación Universitaria Los Libertadores es una Institución de Educación Superior sin ánimo de lucro y utilidad común, creada el 14 de mayo de 1982, por un destacado grupo de personalidades de la vida nacional, quienes tuvieron como fundamento esencial la obra libertaria, soportada en los principios, sueños e ideales de los símbolos de nuestra nacionalidad: Bolívar, Santander y Nariño, quienes, como protagonistas políticos, plasmaron los valores de libertad, orden y justicia, ideales educativos en los cuales se inspira el horizonte educativo de nuestra Institución.¹⁴

En esta fecha, se suscribió el acta de constitución y la asamblea estructuró el primer consejo directivo provisional.

4.3.2.1. MISIÓN

Formar integralmente profesionales y ciudadanos críticos con amplio sentido de lo social, ético, estético y político; competentes investigativos, innovadores y con espíritu emprendedor, mediante la cualificación permanente del proyecto pedagógico, curricular y administrativo, que estén en concordancia con los avances de la ciencia, la tecnología y sustentados en el desarrollo económico, político, social, educativo y cultural de los ámbitos local, regional, nacional e internacional.¹⁵

¹³ (Contextos Academicos, 2009)

¹⁴ (Institucion Universitaria Los Libertadores, 2010)

¹⁵ (Intitucion Universitaria Los Libertadores, 2010)

4.3.2.2. VISIÓN

La Fundación Universitaria Los Libertadores se proyecta como una organización social de educación superior con liderazgo en el uso de las tecnologías como mediadoras en los procesos de formación integral en los campos social, económico, cultural, político, humanístico y científico mediante estrategias presenciales, a distancia y virtuales, con propuestas de formación permanente, uso de metodologías innovadoras adecuadas al contexto de la educación superior local, nacional e internacional para contribuir al desarrollo de la sociedad Colombiana.¹⁶

4.3.3. INGENIERIA AERONAUTICA

El programa de Ingeniería Aeronáutica, forma profesionales competentes con sólida fundamentación ética, humanística y científica; comprometidos con su entorno social, partícipes en la investigación y búsqueda de medios convenientes que generen nuevos espacios en la industria aeronáutica.

El futuro Ing. Aeronáutico debe conocer la realidad del mundo aeronáutico y como práctica mínima debe realizar o por lo menos observar el proceso de ensamble, construcción o reconstrucción de una aeronave.

El trabajo propuesto para el futuro inmediato es ambicioso pero realizable: La Fabricación de Aeronaves. Este incluye la variación o modificación estudiada de las medidas originales del prototipo. Es requerido el trabajo de Hangar en aplicación a los fundamentos teóricos recibidos.

4.3.3.1. PERFIL PROFESIONAL

El Ingeniero Aeronáutico será un ciudadano crítico, con amplio sentido de lo social, ético, estético y político; investigativo, innovador y con espíritu emprendedor. Un profesional que con sus conocimientos científicos, técnicos y sus habilidades prácticas, diseña, implementa y opera modelos para dar soluciones eficientes en el campo de acción de la Ingeniería Aeronáutica.

El Ingeniero Aeronáutico de la Fundación Universitaria Los Libertadores tiene los conocimientos y la capacidad para adelantar procesos de diseño de aeronaves, teniendo en cuenta la integración de su estructura con los sistemas.

El egresado del Programa de Ingeniería Aeronáutica está en capacidad de identificar, interpretar, diagnosticar, calcular, evaluar los diferentes sistemas y componentes de una aeronave, asimismo podrá realizar funciones de

¹⁶ (Intitucion Universitaria Los Libertadores, 2010)

dirección, administración y asesoramiento en los diferentes sectores aeronáuticos.

El ingeniero aeronáutico egresado de Los Libertadores tendrá la capacidad de organizar, administrar, gestionar y controlar las actividades de mantenimiento de aeronaves; implementar procedimientos ingenieriles que ayuden a mejorar la calidad del mantenimiento aeronáutico; dirigir y coordinar el seguimiento y la auditoria en procesos de calidad en el sector aéreo.

4.3.3.2. MISION

El programa de Ingeniería Aeronáutica de la Facultad de Ingeniería de la Fundación Universitaria Los Libertadores, tiene como propósito apropiar, desarrollar, aplicar y transmitir el conocimiento en Ingeniería, a través de la investigación y de la formación de profesionales con sólidos conocimientos científicos y técnicos, conscientes de la importancia de la cultura en su desarrollo personal y profesional, capaces de innovar, de aprender por sí mismos y de ejercer una actitud activa, creativa, crítica, tolerante y ética, para enfrentar con éxito los retos de un mundo moderno, fomentando la responsabilidad social en la generación de la industria aeronáutica del país y contribuyendo con su desarrollo económico.¹⁷

4.3.3.3. VISION

El programa de Ingeniería Aeronáutica se proyecta al año 2019 como una organización educativa constituida por profesionales idóneos, creativos, que generen investigación en el campo aeronáutico que permita dar soluciones inmediatas a la problemática actual y desarrollo acelerado de la tecnología aeronáutica, ofreciendo planes y programas de estudios actualizados, eficientes, flexibles, transversales, con una infraestructura física experimental, computacional, hemerográfica apropiada, para formar profesionales con sólidos conocimientos tecnológicos y científicos, enfocado en una cultura de investigación que les permita actuar en los diferentes campos de acción que ofrece la disciplina, en concordancia a las necesidades de la población y el país, manteniendo vínculos estrechos con otras instituciones afines.¹⁸

¹⁷ (Universidad Los Libertadores, 2006)

¹⁸ (Universidad Los Libertadores, 2006)

5. METODOLOGIA

5.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se considera la investigación de manera experimental, donde se busca que tan eficaz es la instalación de las celdas fotovoltaicas y como contribuye a la autonomía de vuelo, por lo que es de tipo explicativo, relacionando causa (instalación de las celdas) y Efecto (Autonomía de vuelo del helicóptero), en el que se genera un estudio correlacionando las variables dependientes e independientes llevándonos a una investigación comprobatoria.

5.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Es un método inductivo en el que se emplea la observación y la experimentación a través de las pruebas que se realizaran en el helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3), con la instalación de las celdas fotovoltaicas; permitiendo arrojar datos estadísticos, con los cuales demuestren la autonomía de vuelo que tendrán los motores RimeFire 0.25.

Se propone el diseño del sistema considerando el tipo de celda fotovoltaica a usar y la ubicación que tendrá en el fuselaje del BE-X3, lo que permitiría una caracterización de las variables dependientes, utilizadas en la experimentación.

5.3. HIPOTESIS

El resultado que se espera obtener en este proyecto, es aumentar el funcionamiento de los motores del helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward –X3); con la ayuda de la instalación de los paneles fotovoltaicos en la parte superior del fuselaje, buscando un mayor lapso de vuelo, con la energía obtenida del sol que mantendrá la carga de las baterías.

5.4. VARIABLES

5.4.1. VARIABLES INDEPENDIENTES

- Fuselaje BE-X3
- Baterías litio
- Motores 0,25

5.4.2. VARIABLES DEPENDIENTES

- Voltaje
- Corriente
- Numero de celdas
- Radiación

5.5. LIMITACIONES Y ALCANCES

5.5.1. LIMITACIONES

Las limitaciones que se pueden presentar en este proyecto, es el espacio aprovechable para la instalación de las celdas fotovoltaicas, puesto que puede llegar a ser insuficiente para generar la energía necesaria para mantener constante el funcionamiento de los motores del helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward –X3).

Otra limitación que se puede presentar es el tipo de celdas que podemos utilizar, si son mono cristalinas, poli cristalinas, rígidas, o flexibles ya que cada una cuenta con un porcentaje diferente de eficiencia.

5.5.2. ALCANCE

El desarrollo de un nuevo prototipo con la implementación de nuevas tecnologías y conocimientos desarrollados en el transcurso del pregrado, observando su funcionamiento, posibles mejoras para un mercado en desarrollo.

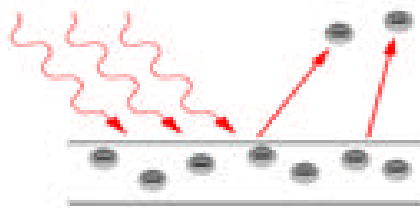
6. ANALISIS DOCUMENTAL SOBRE EL MANEJO E INSTALACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS.

6.1.CELDA FOTOVOLTAICA

Una celda fotovoltaica¹⁹, es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía luminosa (fotones) en energía eléctrica (electrones) mediante el efecto fotoeléctrico. A su vez el efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por un material cuando se le ilumina con radiación electromagnética, estos electrones libres, al ser capturados generan una corriente eléctrica.

La unión de celdas fotovoltaicas da origen a un panel fotovoltaico, el que consiste en una red de celdas solares conectadas en serie para aumentar la tensión de salida continua hasta el valor deseado. También se conectan en paralelo con el propósito de aumentar la corriente de salida del sistema.

Imagen 7: Efecto Fotovoltaico de una Celda Solar



Fuente: (Chile, 2010)

Imagen 8: Celda Fotovoltaica de Silicio Poli cristalino



Fuente: (Chile, 2010)

¹⁹(Wikipedia, Wikipedia, 2014)

6.2. FUNCIONAMIENTO DE UNA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Para aprovechar de manera efectiva, la energía que nos llega a la tierra en forma de radiación solar se emplea dispositivos llamados paneles solares, empleando en su fabricación un material que debe ser especialmente sensible a la radiación solar, para transferir la energía de los fotones a los electrones-protones.

Una célula fotovoltaica solo puede generar corriente cuando se cumple las siguientes tres condiciones:

- Modificar el número de cargas positivas y negativas:

Según Pep Puig Marta Jofra “La primera condición se alcanza cuando se añaden a un semiconductor puro unas pequeñas dosis de átomos “contaminantes”, denominados también dopantes, que son capaces de ceder o aceptar electrones”²⁰.

- Crear cargas que permitan la aparición de una corriente:

Según Pep Puig Marta Jofra “Es preciso exponer la célula fotovoltaica a una radiación luminosa para aprovechar la energía de los fotones (o partículas de luz)”.

- Debe aparecer una diferencia de potencial o campo eléctrico:

Según Pep Puig Marta Jofra “Se puede obtener una diferencia de potencial uniendo dos semiconductores que contienen una densidad de cargas positivas o negativas diferente”

6.3. TECNOLOGÍAS EN LA FABRICACIÓN DE CELDAS FOTOVOLTAICAS

Las celdas fotovoltaicas de silicio se construyen utilizando planchas mono cristalinas, planchas poli cristalinas o láminas delgadas (amorfas).

- **Silicio Mono cristalino:** Se fabrica en base de láminas de un único cristal de muy alta pureza y estructura cristalina casi perfecta. Su espesor aproximado de las láminas es de 1/3 a 1/2 milímetro, las cuales son cortadas de una gran barra o lingote mono cristalino creado a una temperatura cercana a 1400° C, siendo un proceso muy costoso. La eficiencia de estas celdas llega en un 24,7% en laboratorio y a un 16% en paneles comerciales. Los paneles contruidos con este tipo de

²⁰(Jofra, 2008)

tecnología son los más desarrollados del mercado, siendo garantizados por algunos fabricantes por hasta 25 años.²¹

Imagen 9: Panel Solar de Silicio Mono Cristalino



Fuente: (Sitiosolar, 2013)

- **Silicio Policristalino:** Son laminas fabricadas a través de un proceso de moldeo, para esto se funde el silicio y se vierte sobre moldes. Una vez que el material se ha secado, se corta en delgadas láminas. El proceso de moldeo es menos costoso de producir que el silicio monocristalino, con menor eficiencia, debido a que el proceso deja imperfecciones en la superficie de la lámina. Alcanza valores alrededor del 19,8% en laboratorio y de 14% en paneles comerciales.

Las características del silicio cristalizado, hacen que los paneles de silicio policristalino posean un grosor considerable. Empleando silicio con otros materiales semiconductores, es posible obtener paneles más finos e incluso flexibles.

Imagen 10: Panel Solar de Silicio Poli Cristalino



Fuente: (Sitiosolar, 2013)

²¹(Sitiosolar, 2013)

Tanto en el proceso de fabricación de láminas de silicio mono cristalino, como poli cristalino, casi la mitad del silicio se pierde como polvo durante el corte.

- **Silicio Amorfo:** Es una tecnología de lámina delgada y se fabrica depositando silicio sobre un sustrato de vidrio de un gas reactivo, tal como silano (SiH_4). Además es posible aplicarlo como película sobre sustratos de bajo costo como cristal o plástico. Generando un aumento de su eficiencia, llegando a valores entre 5 y 10% para paneles comerciales y de 13% en laboratorios. Existen tecnologías de lámina delgada que incluyen láminas de silicio multicristalino, seleniuro de cobre e indio/sulfuro de cadmio, telurio de cadmio/sulfuro del cadmio y arseniuro de galio. Esta tecnología ofrece una serie de ventajas como: deposición y un ensamblado más fácil, la capacidad de ser depositadas en sustratos o materiales de construcción baratos, los que incluso pueden ser flexibles, producción en masa, y conveniencia para grandes aplicaciones. Sus costos son inferiores a las dos tecnologías anteriores.
- **Telurio de cadmio:** Rendimiento en laboratorio 16% y en paneles comerciales 8%
- **Arseniuro de Galio:** Uno de los materiales más eficientes, alcanza un 25,7% de rendimiento en laboratorio y 20% en paneles comerciales
- **Diseleniuro de cobre en indio:** Rendimientos en laboratorio próximos al 17% y en paneles comerciales del 9%
- **Paneles Fotovoltaicos Orgánicos (OPV)**²²: Se trata de polímeros orgánicos capaces de reaccionar y liberar electrones en presencia de luz solar. La particularidad de estos paneles es que se pueden elaborar por medio de procesos de impresión y de recubrimiento a alta velocidad y escalables, como las pinturas en spray y la impresión de inyección de tinta para cubrir áreas más extensas. Lo que facilita su aplicación sobre superficies metálicas, paredes exteriores de un edificio o techo. De esta manera, es posible conseguirlos a costos mucho más bajos que los tradicionales de silicio.

Los expertos aseguran que gracias a los avances de la nanotecnología se están mejorando sus propiedades de eficiencia y grosor. En el caso de las celdas solares sensibilizadas por tinta, corresponden a unas películas coloreadas o transparentes que

²²(Muerza, 2009)

pueden instalarse en ventanas. Además poseen baja dependencia a la temperatura y al ángulo de luz, con lo que se puede conseguir la máxima potencia energética durante todo el año.

Imagen 11: Celda Fotovoltaica Orgánica



Fuente: (Muerza, 2009)

- **Paneles Fotovoltaicos de película delgada (thin-film):** Se construyen en base a microestructuras CIGS (Cobre Indio Galio Selenio), o CIS en caso de no incluir al Galio, alojadas sobre un soporte flexible y liviano, aptas para ser instaladas sobre techos, fachadas de edificios, ventanas, teléfonos móviles, ordenadores portátiles y automóviles.

Respecto a la energía consumida durante su fabricación, las temperaturas son mucho más bajas, al igual que el impacto ambiental. Según un estudio de Nano-solar, empresa especializada en el desarrollo de este tipo de tecnología, indica que un kilo de CIGS integrado en una celda solar produce cinco veces más electricidad que un kilo de uranio enriquecido integrado en una central nuclear.

Imagen 12: Láminas Fotovoltaicas de Película Delgada (thin-film)



Fuente: (Muerza, 2009)

6.4. CARACTERÍSTICAS DE UN PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO

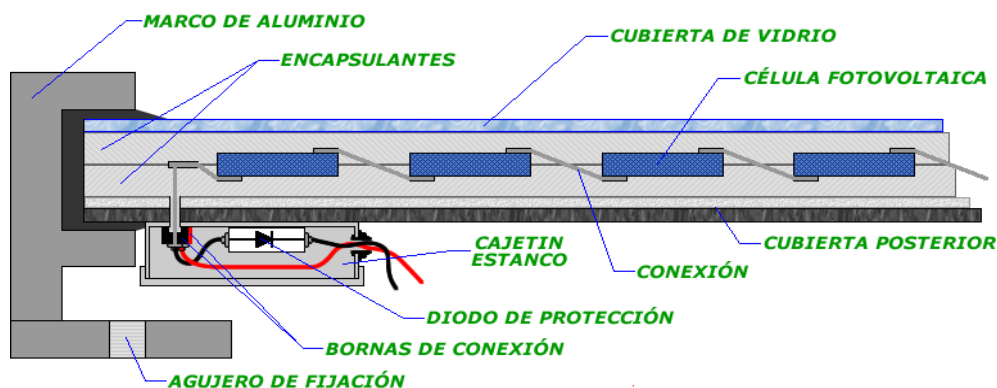
Un panel solar está constituido por varias celdas solares conectadas eléctricamente entre sí. De tal forma que reúnan condiciones óptimas para su integración en sistemas de generación de energía (siendo compatibles tanto en tensión como en potencia) con las necesidades y equipos existentes en el mercado²³.

Una vez implementadas las celdas al panel se procede a recubrirlo de diversas capas para proteger las células tanto por arriba como por abajo, con el fin de darles una protección mecánica, además protegiéndolos contra los agentes atmosféricos como lo es el agua, aire, lo cual generaría oxidación y las celdas quedarían inservibles ya que su rendimiento y autonomía se verían afectados.

Dando una visión general podemos observar y decir que un panel solar está formado por:

- Cubierta exterior
- Capa encapsulante anterior
- Células fotovoltaicas
- Capa encapsulante posterior
- Protección posterior
- Marco de soporte
- Empalmes eléctricos de salida

Imagen 13: Elementos de un Panel Fotovoltaico



Fuente: (UJAEN, 2014)

²³(Canarias, 2009).

La corriente de la célula solar es un balance entre la fotocorriente y la corriente de oscuridad que a su vez depende de la tensión aplicada a los terminales del dispositivo. Siendo los dos puntos extremos de cortocircuito y circuito abierto quedando definidos como dos parámetros, la corriente de cortocircuito, I_{sc} , y la tensión de circuito abierto, V_{oc} . Estos dos parámetros suelen describirse en la ecuación 1²⁴.

$$I = I_{sc} * \left[1 - \exp\left(\frac{e(V_{oc} - V)}{m * k * T_c}\right) \right] \quad (1)$$

Para comenzar con la caracterización de las celdas y módulos fotovoltaicos debemos de tener en cuenta la ficha técnica de cada célula solar:

De hecho se sabe que ($I = I_L - I_D$) describe el comportamiento de la corriente de una celda solar en forma analítica, sin embargo en forma simplificada se la puede expresar mediante un modelo exponencial y la ecuación queda:

Siendo que $I_D = I_0 \left(e^{\frac{q*V}{m*k*T_c}} - 1 \right)$ entonces la ecuación 2 finalmente viene quedando:

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{q*V}{m*k*T_c}} - 1 \right) \quad (2)$$

La representan las características de una célula solar con irradiación y temperatura constantes. Donde de acuerdo con la ley de ohm se representa matemáticamente por la ecuación 3:

$$V_L = I_L * R \quad (3)$$

Es importante resaltar que es el valor de la resistencia R y el valor de corriente I_L (A) son los que imponen el punto de trabajo de la celda solar. Sin embargo la potencia P_L se representa como el punto B y en la siguiente ecuación:

$$P_L = V_L * I_L \quad (4)$$

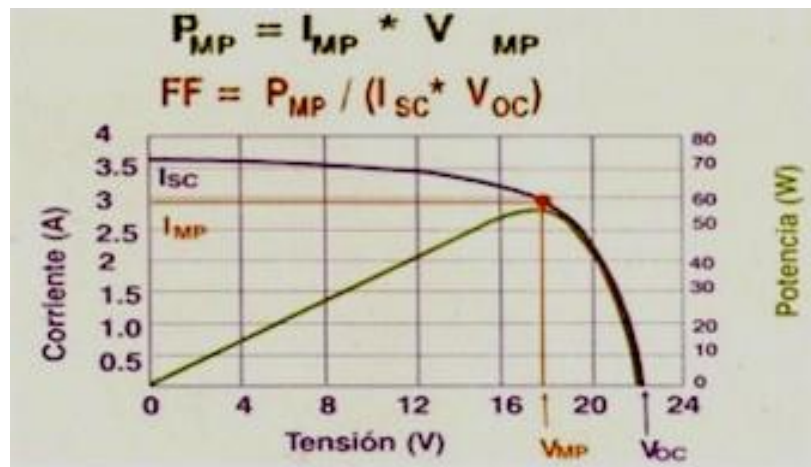
²⁴(Perpiñan Oscar, 2012)

Donde P_L es la potencia luminosa (W) y I_L intensidad (A) suministrada por la célula. Además a partir de las ecuaciones pasadas podemos calcular la potencia máxima entregada por la célula.

Cumplíendose la siguiente expresión:

$$P_{max} = V_{mpp} * I_{mpp} \quad (5)$$

Gráfica 1: Caracterización V-I de un panel fotovoltaico



Fuente: (J.Domingo Aguilar Peña)

Además el cociente entre la corriente I_{sc} y la tensión V_{oc} se denomina factor de forma (FF) expresado en la ecuación 6.

$$FF = \frac{V_{mpp} * I_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}} = \frac{P_{max}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (6)$$

El factor de forma es tanto más cercano a la unidad cuanto más acentuado sea el codo localizado en el punto de máxima potencia su valor normalmente va comprendido entre 0,7 y 0,8, variando dependiendo del tipo de célula solar que se desee examinar. Por tanto conociendo I_{sc} y V_{oc} tendremos que

$$P_{max} = FF * I_{sc} * V_{oc}.$$

Por otra parte la calidad y rendimiento (η) de una célula solar está dada por las siguientes expresiones, indicando el porcentaje de energía solar recibida sobre la superficie de la célula que se convierte en energía eléctrica.

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_l} = \text{no CEM} ; \frac{P_{max}}{G * A_c} = \text{CEM} \quad (7)$$

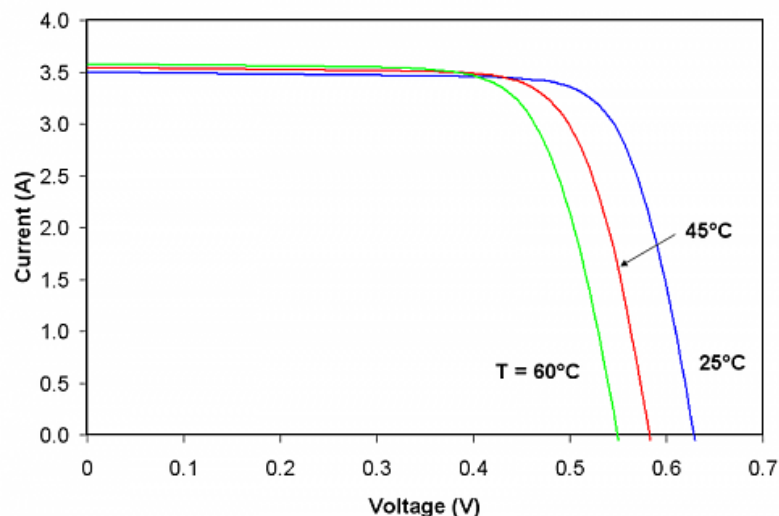
Donde (G) es igual a la irradiación en condiciones estándar de medida (CEM) medida en Watt/metro cuadrado y A_c será el área superficial de la célula solar medida en metros cuadrados (m^2).

Para poder obtener cálculo práctico de la temperatura que se somete una celda solar se debe tener en cuenta el concepto de operación nominal de la celda (NOCT o TONC) definida como aquella que alcanza una célula cuando su módulo trabaja en las siguientes condiciones estándar:

- Irradiación (G)= 1000 W/ m^2
- Espectro: correspondiente a masa de aire (AM)= 1,5
- Temperatura ambiente: $T_a= 20^\circ\text{C}$

El valor de TONC toma valores que van desde los 43°C hasta los 49°C , no obstante un valor de 45 y 47°C es un valor aceptable para una amplia gama de celdas y paneles solares. El efecto de la temperatura y la irradiación en la curva característica quedan consignados en las siguientes figuras.

Gráfica 2: Efecto de temperatura en la curva característica I-V en un módulo solar



Fuente: (ZONNEPANELEN, 2013)

6.5. ENERGÍA GENERADA POR UN PANEL SOLAR

Para el cálculo se deben de tener en cuenta la ecuación. A la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Previamente denotadas en este capítulo, que también aplican para un panel solar. Según dice Pareja Paricio Miguel “*un panel solar fotovoltaico está constituido por celdas solares*”, sin embargo se debe tener en cuenta la energía que genera un panel solar (E_{panel}) durante el día, para ello se utiliza la ecuación 8:

$$E_{panel} = I_{panel} * HPS * \eta_{panel} \quad (8)$$

Donde el I_{panel} corresponde a la corriente máxima, HPS corresponde a las horas de pico solar (horas de exposición a irradiación solar) y η_{panel} corresponde al rendimiento del panel²⁵.

Para cálculos prácticos para el rendimiento del panel se estiman valores típicos entre el 85% al 95%, y como norma general se escoge en promedio un rendimiento del 90%, por lo que la ecuación 9 queda de la siguiente manera:

$$E_{panel} = 0,9 * I_{panel} * HPS * \eta_{panel} \quad (9)$$

O si bien se sabe que el método más simple se fundamenta en el balance de energía dado por: Energía generada= Energía consumida + perdidas del sistema FV.

6.5.1. REGULADOR DE CARGA O CONTROLADOR DE CARGA

El regulador se utiliza en sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía en bancos de baterías, como en viviendas o pequeñas industrias. El regulador de carga supervisa el estado de carga de las baterías, controla el proceso de carga como así también el corte por descarga profunda y la posterior habilitación de consumo. Por esta razón, las baterías pueden usarse en forma óptima y su vida útil se prolonga considerablemente. Los controladores son para usar con baterías de plomo con electrolito líquido y pueden ser programados para usar con otro tipo de electrolitos. El

²⁵(Miguel, 2010)

controlador puede ser utilizado con todos los módulos solares hasta el máximo del valor permitido para la conexión²⁶.

6.5.2. BATERÍAS

Los electrodos de una batería solar tienen una aleación de antimonio, la que permite adherir una mayor cantidad de material activo. El envejecimiento de una batería se produce por la pérdida de éste cuando la batería es descargada. Siendo un acumulación formado por un conjunto de acumuladores recargables, dimensionados de forma que garanticen la suficiente autonomía al sistema. Chiquero Bijani dice: “las características que identifican una batería solar respecto a las baterías comunes utilizadas en otros sistemas son su mayor profundidad de descarga PD y su alto valor para el ciclaje”²⁷. Como la presencia del antimonio incrementa la gasificación, la corriente de carga en un sistema FV debe tener un régimen variable.

A continuación se detallan los requisitos que deben cumplir las baterías para uso fotovoltaico:

- Larga vida útil.
- Bajo mantenimiento
- Bajo valor de auto descarga.
- Elevados ciclos de carga-descarga

A diferencia de una batería de coche, la batería de un sistema solar debe estar preparada para sostener corrientes moderadas de una decena de amperios durante horas, además de poder permanecer activa sin recibir carga alguna (servicio nocturno). Normalmente los periodos de reposo son nulos, ya que durante estos la batería está siendo cargada o descargada²⁸.

Dependiendo del tipo de instalación se recomienda el uso de un tipo de baterías u otro, actualmente el mercado ofrece un amplio abanico de prestaciones en cuanto a baterías se refiere.

²⁶(Ecosolarsa, 2005)

²⁷(Shanti, 2007)

²⁸(Bianca, 2011)

6.6. SISTEMA DE PROPULSIÓN Y SUS COMPONENTES

6.6.1. MOTORES ELECTRICOS

El helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3), cuenta con dos motores de corriente directa conocidos como Motor RimeFire .25, este tipo de motores tienen una eficiencia mayor que los que corriente alterna, debido a la carencia de escobillas, ya que sin estas el desgaste de la maquina es menor. Su diseño único le proporciona un torque muy alto, permitiendo hacer girar hélices muy grandes y encorvadas si necesidad de reductora. Los RimeFire .25 están hechos con imanes de neodimio y carcasa rotativa. Han sido fabricados con las últimas tecnologías y los mejores materiales. El eje de salida endurecido está soportado por dos rodamientos, esta construcción asegura la robustez del conjunto sin influir en su peso.²⁹

Se emplearon los motores con hélices bipala de marca Apcpropellers de 10x6 fabricada como pieza compuesta, ya que tienen la potencia necesaria para proporcionar un empuje (Par generado por el motor y la hélice). Además se elige este tipo de motor según las características del helicóptero BE-X3; como lo es las limitaciones de peso, ya que no debe exceder las 7 lb.

Imagen 14: Motor RimFire.25



Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

A continuación mostramos las principales características del motor RimeFire .25:

²⁹ (Electrify, 2006)

Tabla 1: Características Motor Rimfire.25

Modelo	GPM G4675
Peso (gr)	125g (4.4oz)
Hélice recomendada	11x8.5 a 12x6
Nº de celdas LIPO	3S
RPM/V	1000
Rango de Voltaje	11.1 – 14.8V
Diámetro	42mm
Longitud	40mm
Diámetro del eje	5mm
Potencia eléctrica	740 W
Potencia de propulsión	650 W

Fuente: (Electrifly, 2006)

6.6.2. ELECTRONIC SPEED CONTROLLER

Un control electrónico de velocidad o ESC es un circuito electrónico con el fin de variar un motor eléctrico de velocidad, su dirección y, posiblemente, también para actuar como un freno dinámico. CES se utilizan a menudo en la propulsión eléctrica modelos de radio control, con la variedad más frecuente para motores sin escobillas consiste básicamente en proporcionar un producido electrónicamente y trifásica de energía eléctrica de baja tensión de la fuente de energía para el motor.

Se clasifican normalmente de acuerdo con la máxima de corriente, por ejemplo, 25 amperios o 25 A. En general cuanto mayor sea el número, más grande y más pesado el CES tiende a ser que es un factor en el cálculo de masa y centrado en los aviones. Muchos CES modernos soportan hidruro metálico de níquel, litio polímero y fosfato de hierro de litio baterías con un rango de voltajes de entrada y de corte

Si la potencia que procedente de la batería es insuficiente para continuar ejecutando el motor eléctrico, el ESCs reduce o corta el suministro de energía al motor al tiempo que permite el uso continuado de los alerones, el timón de dirección y la función de ascensor. Esto permite al piloto mantener el control del avión para volar a baja potencia para la seguridad o poder planear para evitar accidentes³⁰.

³⁰ (Taller de Dedalo, 2010).

Imagen 15: ESC (Electronic Speed Controller)

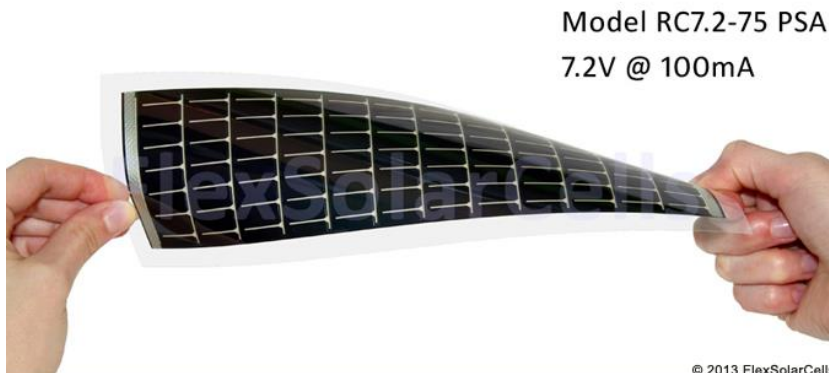


Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

6.7. CELDAS FOTOVOLTAICAS SELECCIONADAS PARA EL HELICOPTERO BE-X3

Para el Helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3) serán utilizadas las celdas solares RC7.2-75 PSA, equipadas con un Adhesivo sensible a la Presión (PSA), lo cual hizo atractivo su uso para la finalidad de este del proyecto, ya que es solo remover la película protectora en ella y poner firmemente la celda sobre la superficie aerodinámica. Además de ser las indicadas para soportar diferente situaciones atmosféricas, ya que como sabemos la celdas rígidas pierden su integridad al someterse a la vibración en cambio la RC7.2-75 PSA al ser flexible adsorbe están vibraciones sin perder eficiencia.

Imagen 16: RC7.2-75 PSA Células Solares Flexibles 7.2V @ 100mA



Model RC7.2-75 PSA

7.2V @ 100mA

© 2013 FlexSolarCells

Fuente: (Meitzen, LLC, 2012)

A continuación mostramos las características principales de las celdas flexibles RC7.2-75 PSA:

Tabla 2: Características de la celda RC7.2-75 PSA

Vatio	0.72W
Voltaje	7.20V
Corriente	110mA (0.11A)
Voltaje (ca)	10.5V
Corriente (cc)	120mA (0.12A)
Espesor	0.2mm (8 mil)
Tamaño Total	3.5 x 10.6" (90 x 270mm)
Tamaño Apertura	3.0 x 9.5" (75 x 240mm)
Área	(243000mm ²) (0.0243m ²)
Peso	0.3 oz (7.6 g)

Fuente: (Meitzen, LLC, 2012)

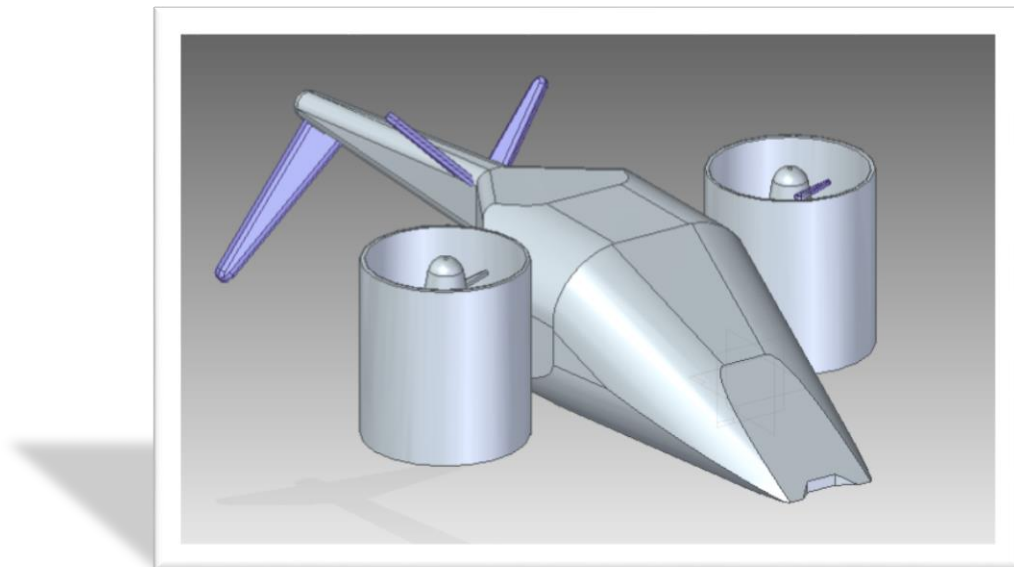
7. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL FUSELAJE DEL HELICÓPTERO BE-X3

El proyecto de grado consiste en implementar paneles fotovoltaicos en un helicóptero, por lo que era necesario contar con un mayor espacio en el fuselaje para su instalación, por este motivo se tomó una configuración de bi rotor lado a lado (twin side by side), que era la que más se acoplaba para su desarrollo, ya que brinda un espacio libre mucho mayor que uno con configuración clásica de rotor principal y rotor de cola.

La recopilación de información sobre diseños, estructuras y configuraciones de aeronaves de ala rotatoria, existentes en el mercado y los conocimientos adquiridos en el transcurso de la carrera, dieron inicio a la consolidación del diseño del el helicóptero Bolívar Edward X3 (BE-X3).

Se inició plasmando la idea general en bosquejos que llevaron a la elaboración del plano a escala para la construcción del prototipo, el cual fue elaborado con materiales biodegradables en un 80%, para posteriormente realizar la instalación de paneles fotovoltaicos en su fuselaje y poder brindar más autonomía de vuelo.

Imagen 17: Modelo Solid Edge Helicóptero BE-X3



Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Las Celdas fotovoltaicas estarán instaladas en la parte superior del fuselaje del helicóptero BE-X3, que se ubicaran teniendo en cuenta su longitud y envergadura.

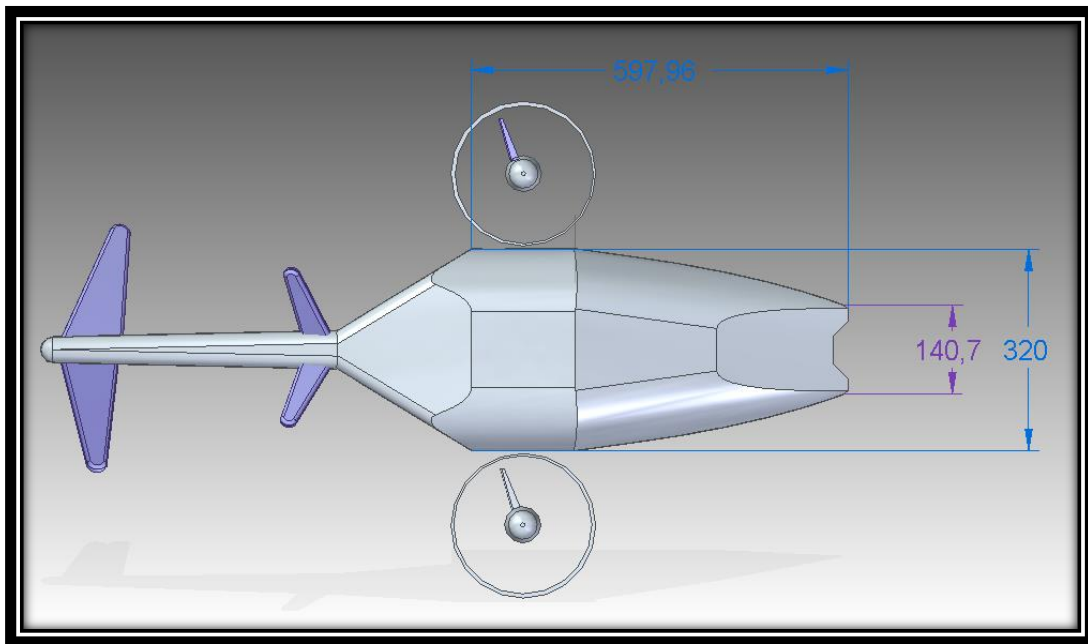
7.1.CALCULO DEL AREA DE INSTALACION

Teniendo en cuenta las dimensiones del prototipo, se calculara la mayor área disponible en el fuselaje, donde se instalaran las celdas fotovoltaicas que transformaran la energía solar en eléctrica, aumentando el tiempo de operación de las baterías, ya que estas se van cargando automáticamente con la energía recibida.

El área del fuselaje es importante, porque en cuanto mayor es su tamaño más celdas puede albergar, aumentando la cantidad de energía transformada, que conlleva a que el tiempo de vuelo del helicóptero sea mayor.

Para mayor claridad se presenta a continuación un plano del BE-X3, en su vista superior donde se visualiza el área donde se instalaran las celdas fotovoltaicas.

Imagen 18: Modelo de dimensionamiento BE-X3



Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Las cotas de la imagen anterior permiten observar que la longitud del fuselaje es de 0,59 metros, la envergadura promedio de 0,2 metros, dando un área de 0,12 metros cuadrados para la instalación de la foto-celda.

Para calcular la superficie del fuselaje S_f , se utiliza la longitud (l_f) y la envergadura (h_f), anteriormente nombrados mediante la siguiente ecuación.

$$S_f = l_f * b_f$$

Tabla 3: Área disponible Fuselaje BE-X3

CARACTERÍSTICAS FUSELAJE BE-X3		
Longitud	0,6	M
Envergadura	0,2	M
Superficie del fuselaje	0,12	m ²

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

7.2. NUMERO DE CELDAS A INSTALAR EN EL FUSELAJE

Teniendo el área del fuselaje calculada, se procede a determinar el número a instalar de celdas solares flexibles RC7.2-75 PSA (adhesivo sensible a la presión).

Pero para poder obtener este número, es primordial calcular primero que todo, el área de las celdas, dicho cálculo se realiza tomando la longitud de la celda multiplicando por su envergadura como se evidencia en la tabla No.1.

Contando con el área del fuselaje y de las celdas, se toman estos valores dividiendo uno entre otro respectivamente, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\# \text{ de celdas} = \frac{\text{Superficie del fuselaje}}{\text{área de celda}}$$

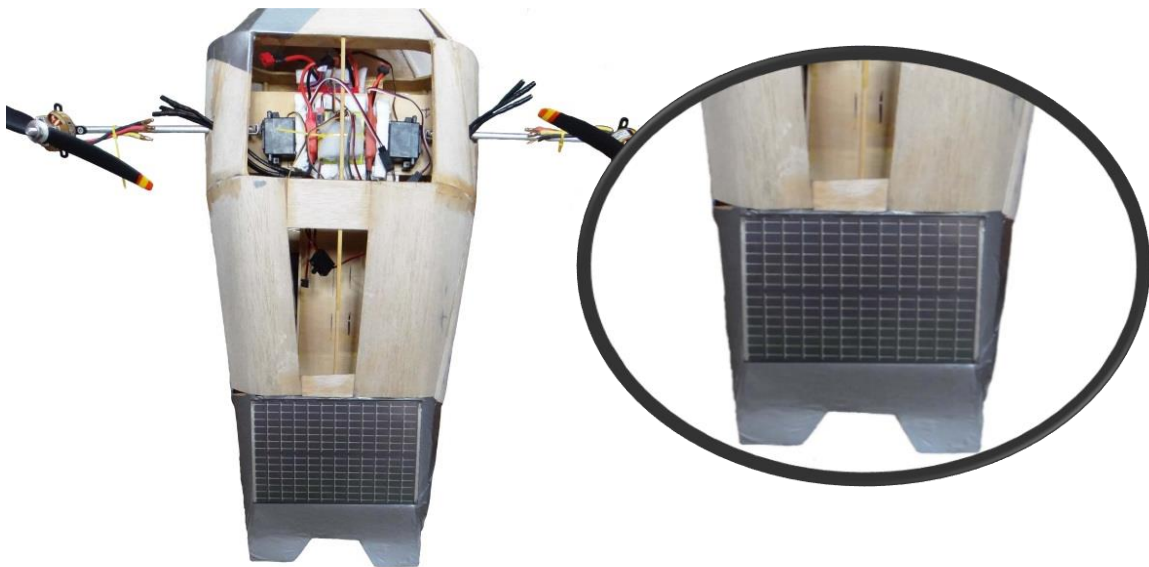
Remplazamos los valores de las áreas del fuselaje y las celdas en la ecuación para saber el número de celdas que se instalarán.

$$\# \text{ de celdas} = \frac{0.12 \text{ m}^2}{0.0243 \text{ m}^2}$$

$$\# \text{ de celdas} = 4.93$$

Se podrán instalar un total de 5 celdas en el helicóptero BE-X3, la forma más óptima de utilizar el espacio es colocarlas de forma horizontal, ocupando con su longitud la envergadura del fuselaje y conectándolas entre sí en paralelo como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 19: Instalación de paneles Fotovoltaicos en el Fuselaje



Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Se decidió instalar celdas solares RC7.2-75 PSA, porque su flexibilidad lo hace mucho más fácil, ya que se acopla a la forma de la superficie del fuselaje sin sufrir daño alguno en su integridad, ni reducir su eficiencia, aparte de contar con el Adhesivo sensible a la Presión (PSA) que reduce su tiempo y complejidad en el momento de fijarlas.

8. PESO Y BALANCE

Para mantener la sustentación es de vital importancia la distribución de las cargas a lo largo de la aeronave sin que dichas cargas lleguen a influir en la ubicación del centro de gravedad y este se encuentre dentro de los parámetros aceptables el cual no comprometa su comportamiento en el aire y además se pueda determinar factores de riesgo en su operación.

Para realizar un buen estudio de peso y balance se tienen que llevar a cabo los siguientes aspectos técnicos:

1. Determinación de la línea datum o de referencia para el cálculo de los momentos.
2. Determinación del momento de cada cuerpo o estación que se calcula para identificar su aporte a la configuración general del peso y balance de la aeronave.
3. Totalización de todos los momentos para el cálculo del centro de gravedad.

Tomando en cuenta lo establecido anteriormente se procede a hacer el peso y balance del helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3) en vacío para determinar su centro de gravedad sin ninguno de sus componentes.

Se toma el peso en vacío del helicóptero BE-X3 en libras, el cual será multiplicado por la distancia desde el datum line hasta la estación donde fue medido el peso generando el momento como se muestra en la siguiente ecuación.

$$M = \text{distancia al datum line} \times \text{peso}$$

Tabla 4: Peso y Balance en vacío

ITEM	PESO (lb)	DISTANCIA (in)	MOMENTO (lbxin)
Estación 1	1,3	2	2,6
Estación 2	0,85	45,5	38,675
TOTAL	2,15		41,275

Fuente:(Edward Leonardo Bolívar)

Teniendo los valores totales del peso y momento del helicóptero en vacío, calculamos el centro de gravedad como se muestra en la siguiente ecuación:

$$CG_{BE-X3} = \frac{\sum Momento}{\sum Weight}$$

Remplazando los valores en la ecuación anterior se determinara el valor del centro de gravedad

$$CG_{BE-X3} = \frac{41,275 \text{ lb} \cdot \text{in}}{2,15 \text{ lb}} \Rightarrow CG_{BE-X3} = 19,19 \text{ in}$$

Teniendo los datos obtenidos de peso, momento y centro de gravedad del helicóptero BE-X3 en vacío, se determina las distancias y pesos, para calcular el momento, a cada uno de sus componentes, incluyendo las celdas; para ello utilizamos la siguiente ecuación(los datos se referencian en la tabla 5):

$$M = W_{componentes} \times Distancia$$

Tabla 5: Pesos y Balance BE-X3 con sus Componentes

ITEM	WEIGHT (lb)	ARM (in)	Momento (lb x in)
Helicóptero	2,1	19,19	40,299
Servomotor	0,18	19	3,42
Motores	0,56486	19,8	11,184228
Speed Controller	0,12	20	2,4
Baterías	0,8	20,5	16,4
Receptor	0,26	20	5,2
Regulador	0,07	20	1,4
Celdas	0,1	10,25	1,025
	4,19486		81,328228

Fuente:(Edward Leonardo Bolívar)

Para determinar nuevamente el centro de gravedad (CG), se dividirá la sumatoria de los momentos previamente calculados entre el total del peso de los componentes y el helicóptero en vacío como se muestra a continuación.

$$C.G_T = \frac{\sum Momento}{\sum Weight}$$

Remplazando los valores en la ecuación anterior se determinara el nuevo valor del centro de gravedad.

$$C.G_T = \frac{81,32 \text{ lb} \times \text{in}}{4,19 \text{ lb}} \Rightarrow C.G. = 19,38 \text{ in}$$

Su nuevo centro de gravedad es de 19,38 pulgadas, su variación no es significativa con respecto al que se tenía previamente calculado que era de 19,60 pulgadas antes de la instalación, puesto que se sigue encontrando dentro de la posición del eje de los rotores.

9. COMPROBACION DE LA HIPOTESIS

El resultado que se esperaba obtener en este proyecto, era aumentar el funcionamiento de los motores del helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward –X3); con la ayuda de la instalación de los paneles fotovoltaicos en la parte superior del fuselaje, que darían un mayor lapso de vuelo, con la energía obtenida del sol que mantendría la carga de las baterías.

Se determinó el consumo de energía que se iba a requerir en el funcionamiento de los motores así como el tiempo que brindaban las dos baterías instaladas en el modelo, para esto se necesitó calcular la potencia requerida y la ideal que necesitaba el helicóptero.

Para obtener los cálculos anteriormente nombrados se necesitaron datos básicos de la aeronave como las siguientes ecuaciones:

Tabla 6: Datos Básicos BE-X3

Datos	
RPM rotor principal:	8700
Rotor Drame(ft):	0,83
Rotor Ratiu(ft):	0,41
Gross Weight (lb)	3,98
Densidad Slug/ft^3	0,00238
Constante π	3,141592654
F.M.	0,8

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Velocidad Ideal

$$V_i = \sqrt{\frac{D_L}{2 * \rho}}$$

Poder ideal

$$P_i = 2\rho A_D V_i^3$$

Poder Real

$$P_r = \frac{P_i}{0.8}$$

Remplazando las ecuaciones se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 7: Resultados de Potencia Obtenidos.

Ideal speed:	39,3110846	Ft/s
Ideal Power:	156,458117	lb*ft/s
	0,2844693	HP
Real Power	0,35558663	HP
	265,267625	W

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Al tener los cálculos de potencia requerida por los motores del helicóptero BE-X3, se necesitó saber cuánto tiempo durarían las baterías con las características escogidas para así posteriormente calcular la ganancia obtenida por las celdas, si la potencia del conjunto es suficiente para recargar las baterías, ya que este método solo permite la fiabilidad del sistema, en función de la capacidad de las baterías y la cantidad de celdas instaladas.

En síntesis el sistema se presenta en base al tiempo adicional de operación que tendrá el helicóptero BE-X3 con los motores RimeFire.25.

Para calcular el tiempo de vuelo generada por las baterías se necesitaron los siguientes datos de los componentes de propulsión.

Tabla 8: Características Baterías

CARACTERISTICAS DE LA BATERIA ESCOGIDA	
2,2	Ah descarga batería
22,2	Voltaje nominal batería
97,68	Potencia entregada por las baterías
2	Baterías disponibles

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Tabla 9: Porcentaje de Eficiencia de los Componentes de Propulsión

COMPONENTES DE SISTEMA DE PROPULSION	
Componente	EFICIENCIAS
Battery Nb	98,00%
Cable Nc	97,00%
ESC Nsc	95,00%
Motor Nmt	90,00%
Propeller Npt	87,00%

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Se utilizaron las siguientes ecuaciones para el cálculo de tiempo de vuelo con baterías.

Voltaje Requerido por los motores (V_{RM})

$$V_{RM} = P_M / I_B$$

Para la potencia real requería por los motores (P_M) fue previamente calculada como se muestra en la tabla 9 y (I_B) es la corriente generada por la batería.

Tiempo de Vuelo en minutos (T_{vl})

$$T_{vl} = \left(\frac{I_B}{V_{RM}} \right) * 60$$

Remplazando los valores en la ecuación obtuvimos el tiempo total en vuelo con el solo uso de las baterías que es de 11 minutos como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 10: Resultados de Tiempo de Vuelo con Baterías

MISION	HOVER
TOTAL EFICIENCIA	0,93
POTENCIA REQUERIDA	265,27
VOLTAJE REQUERIDO POR LOS MOTORES (V_{RM})	11,95
TIEMPO DE VUELO (T_{vl})	11,05

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Al obtener los valores de tiempo en vuelo del helicóptero BE-X3 con el uso de las baterías, solo quedaba saber el tiempo que se ganaría con la instalación de los paneles fotovoltaicos, para esto se necesitó hacer los cálculos de la potencia generada por las 5 celdas y por cuanto se prolongaría la carga de las baterías.

Calculo de potencia generado por los 5 paneles (P_5) instalados:

$$P_t = P_0 * \#Paneles$$

$$P_t = 0,72 * 5$$

$$P_t = 3,6$$

Después de calcular la potencia se procedió a calcular el voltaje y tiempo de operación generado por los 5 paneles (V_{t5}) y (T_{t5}) correspondientemente, con los datos característicos de las celdas que se muestra en la tabla 3.

$$V_{t5} = V_0 * \#de\ paneles$$

$$V_{t5} = 7,2 * 5$$

$$V_{t5} = 36$$

Tiempo de vuelo adicional generado por los paneles solares (T_p).

$$T_p = \left(\frac{I_p}{V_{t5}} \right) * 60$$

$$T_p = \left(\frac{0,11}{36} \right) * 60$$

$$T_p = 0,18333$$

Al obtener este último cálculo ya podemos dar el tiempo total de operación del helicóptero BE-X3 con las celdas fotovoltaicas instaladas, hacemos la suma del tiempo generado por la baterías previamente calculado como el de las celdas dando un total de 11,233 minutos, como se evidencia en la siguiente tabla.

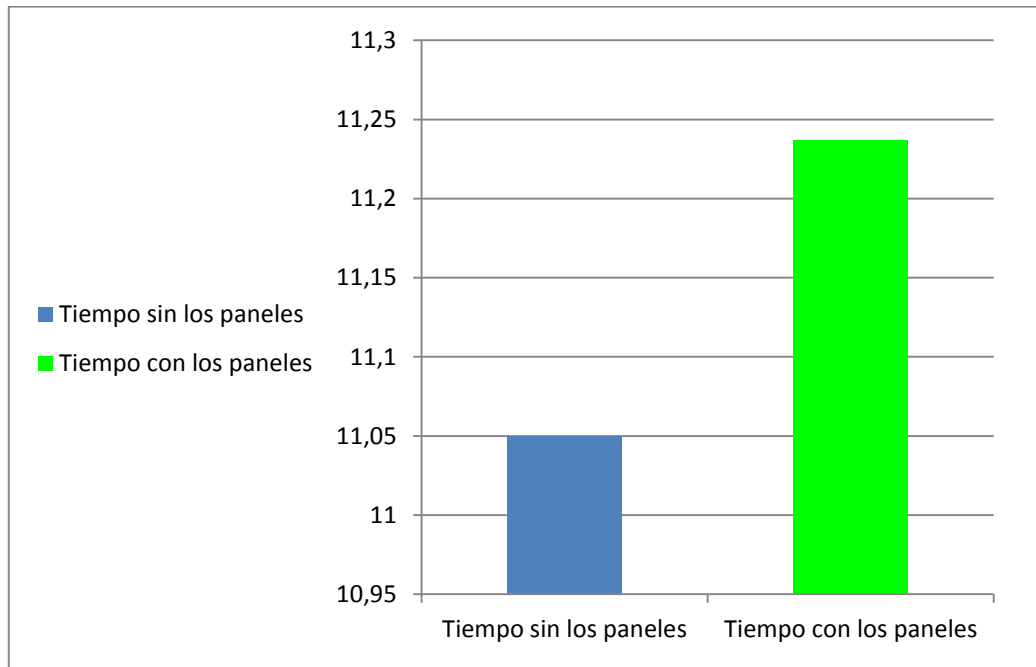
Tabla 11: Resultados de Tiempo de Vuelo

Tiempo generado por la celdas	0,1833
Tiempo generado por las baterías	11,05
Tiempo Total de Vuelo	11,237

Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

Se puede evidenciar que se obtuvo una ganancia con la instalación de los paneles fotovoltaicos en el fuselaje del helicóptero BE-X3 la cual nos generara más autonomía de vuelo y será evidenciada en la siguiente grafica tomando el tiempo de las baterías, con el del conjunto de paneles ya instalado.

Gráfica 3: Tiempos de Vuelo



Fuente: (Edward Leonardo Bolívar)

10. CONCLUSIONES

Del desarrollo de este trabajo, que ha tenido como objetivo general contribuir a la mejora tecnológica de nuevos sistemas físicos de control de patógenos, se obtienen las siguientes conclusiones:

1. En la instalación de las celdas fotovoltaicas en el helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3), se necesitó determinar la utilidad que representaría como una fuente alternativa de energía eléctrica, para proporcionar el buen funcionamiento de las baterías y los motores.
2. La instalación de las celdas fotovoltaicas representa un gran reto, a pesar de que la estructura del helicóptero BE-X3 cuenta con un amplio espacio en la parte superior del fuselaje y tener una forma semi plana, debido a la complejidad para encontrar celdas del tamaño exacto.
3. Los cálculos representados permitieron determinar que la cantidad de celdas a instalar que permitía el espacio eran cinco, que brindaron una potencia adicional de 3.6 W para la recarga de las baterías aumentando el tiempo de vuelo y funcionamiento de los motores.
4. Al instalar paneles fotovoltaicos, se desarrolla una fuente de energía autosustentable amigable con el medioambiente, trasformando maquinaria de uso cotidiano alimentada por combustibles fósiles a totalmente eléctricos que cumplan con la misma cantidad de tiempo de operación.
5. Para que una aeronave eléctrica pueda cumplir los mismos objetivos que una alimentada por combustible fósil se tendría que aprovisionar de un gran número de baterías, aumentando su peso sin lograr ningún resultado, por eso se acondiciona para que puedan albergar paneles solares dentro de su estructura y cumpla con estándares de peso y autonomía de vuelo.
6. Al recalcular el peso y balance del helicóptero BE-X3 (Bolívar Edward – X3) después de instalar las celdas fotovoltaicas, se evidencio que su centro de gravedad no se trasladó considerablemente permitiendo su normal operación.

11. RECOMENDACIONES

Como recomendación inicial se puede empezar con evitar producir gases de invernadero, apoyando acciones en pro del medio ambiente y utilizando lo menos posible combustibles fósiles.

En el diseño propuesto se recomienda modificar las dimensiones del fuselaje para que este pueda albergar un mayor número de paneles solares. Al aumentar el tamaño se necesita más potencia pero se pueden albergar más cantidad de baterías, aumentando su peso el cual se podrá contrarrestar con materiales mucho más livianos reduciendo el peso en vacío del helicóptero BE-X3 y obtener una mayor autonomía de vuelo.

Al aumentar el tamaño hay que hacer una buena conjugación entre los motores y las hélices para que generen más empuje a un menor costo de energía, así como baterías y reguladores de carga de mayor capacidad con menor peso bruto.

Realizar un constante monitoreo del funcionamiento del sistema para verificar el buen funcionamiento de este, así como mantenimientos periódicos en su cableado como en los paneles con el fin de evitar su deterioro y prevenir posibles interrupciones en el funcionamiento óptimo

12. BIBLIOGRAFÍA

- Textos Científicos*. (04 de Julio de 2005). Recuperado el 13 de Marzo de 2014, de <http://www.textoscientificos.com/energia/celulas>
- Taller de Dedalo*. (4 de Febrero de 2010). Obtenido de <http://tallerdedalo.es/web/ESC>
- UJAEN*. (20 de Junio de 2014). Obtenido de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/04_componen/01_generador/01_basico/4_gene_01.htm
- Wikipedia*. (10 de Agosto de 2014). Recuperado el 12 de Agosto de 2014, de http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_el%C3%A9ctrica
- Angel, S. M. (2010). *Energía Solar Fotovoltaica*. Mexico: Limusa.
- ARIZA CRUZ, J. S., FIGUEREDO CELY, D. F., & HERNANDEZ CASTAÑEDA, J. A. (2014). *Diseño Detallado, Construcción de la Aeronave VANT SOLVENDUS*. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Barcala Montejano, M., & Rodriguez Sevillano, A. (22 de Abril de 2007). *Universidad Politécnica de Madrid*. Recuperado el 22 de Febrero de 2014, de <http://ocw.upm.es/ingenieria-aeroespacial/helicopteros/contenidos/material/descripcion-y-tipos>
- Barun Jean Paul, F. B. (1990). *Electricidad Luminosa y sus Campos de Aplicación*. Mexico D.F.: Trillas S.A.
- Bianca, C. M. (2011). *Proyecto fin de Carrera*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Canarias, G. d. (2009). *Guía Técnica de Aplicación para Instalaciones de Energías Renovables*. Madrid.
- CATOLICO, F. (20 de Marzo de 2014). *Craft Models*. Obtenido de Craftmodels.com: <http://www.craftmodel.com/index.php/motores/electricos-brushless/axi/axi-2820-12.html>
- Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico. (9 de Noviembre de 2012). *Normatividad sobre Energía Solar Térmica y Fotovoltaica*. Medellín, Colombia.

Chile, S. (10 de Marzo de 2010). *unglobalcompact*. Recuperado el 25 de Febrero de 2014, de http://www.unglobalcompact.org/system/attachments/8146/original/Proyecto_Si_mec_Chile.pdf?1287789602

Contextos Academicos. (2009). *Contextos Academicos*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2014, de http://contextosacademicos.org/spanish/index.php?option=com_content&view=article&id=6:historia&catid=1:nosotros

Ecosolarsa. (2005). *Reguladores de Carga*. Buenos Aires: Ecosolarsa.

Electrifly. (2006). *Electrifly*. Recuperado el 19 de Julio de 2014, de <http://www.electrifly.com/>

ESCAMILLA NÚÑEZ, R. (2010). *Diseño, Construcción, Instrumentación y Control de un Vehículo Aéreo No Tripulado (UAV)*. Escuela Superior de ingeniería Mecánica y Electrica. Mexico D.F.: Instituto Politecnico Nacional.

H. Rodriguez, F. G. (1994). *Manual de Radiación Solar en Colombia Vol: II*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Institucion Universitaria Los Libertadores. (2010). *Institucion Universitaria Los Libertadores*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2014, de <http://www.ulibertadores.edu.co:8089/?idcategoria=32>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. (1998). *EFICIENCIA ENERGÉTICA. EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS Y SUS COMPONENTES*. Bogotá: Icontec.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. (2008). *Componentes De Acumulación, Conversión y Gestión De Energía De Sistemas Fotovoltaicos. Calificación del Diseño y Ensayos Ambientales*. Bogotá: Icontec.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACIONES. (2009). *PROTECCIÓN CONTRA LAS SOBRETENSIONES DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS PRODUCTORES DE ENERGÍA*. Bogotá: Icontec.

Intitucion Universitaria Los Libertadores. (2010). *Intitucion Universitaria Los Libertadores*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2014, de <http://www.ulibertadores.edu.co:8089/?idcategoria=33>

J.Domingo Aguilar Peña, A. G. (s.f.). *UJAEN*. Obtenido de http://www.ujaen.es/investiga/solar/07cursosolar/home_main_frame/08_lecciones/02_leccion/www/Modulo_fotovoltaico.htm

- Jofra, M. (2008). *Energia Renovable para todos*. España.
- Mario, Q. C. (2004). *Implementacion de un Sistema Energetico Renovable no Convencionales para la Unidad de Cuidados Paliativos de Alajuela*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Meitzen, LLC. (2012). *CeldasSolaresFlexibles.com*. Recuperado el 15 de Julio de 2014, de http://www.celdassolaresflexibles.com/index_files/OEM_Components/Flex_Cells/pages/16-PowerFilm-Solar-Cell-Module-RC72-75-PSA.php
- Miguel, P. P. (2010). *Energia Solar Fotovoltaica*. Barcelona, España: Marcombo S.A.
- Muerza, A. F. (23 de Febrero de 2009). *Eroski Consumer*. Recuperado el 25 de Febrero de 2014, de http://www.consumer.es/web/es/medio_ambiente/energia_y_ciencia/2009/02/23/183546.php
- Murcia, R. (2008). Desarrollo Energia Solar en Colombia. *Revista de Ingenieria*, 1-10.
- NOTH, A. (2013). *Solar UAS Drivetrain Report*. Masschusetts Institute Of Technology, MIT Lincoln Laboratory. Estados Unidos: University of Michigan.
- Perpiñan Oscar, C. M. (2012). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos*. España: Promotora General de Estudios.
- Profesor. (8 de Febrero de 2006). *Solarizate*. Recuperado el 25 de Febrero de 2014, de <http://www.solarizate.org/pdf/castellano/profesor/PROFESOR.pdf>
- Shanti, C. B. (2007). *Electrodeposicion y Caraterizacion de Laminas de Cu2O, Aplicacion como Electrodo de Baterias de Ion-Litio*. Malaga: Universidad de Malaga, Departamento de Fisica.
- Sitiosolar. (2013). *Sitiosolar*. Recuperado el 25 de Febrero de 2014, de <http://www.sitiosolar.com/paneles%20fotovoltaicas.htm#comofunciona>
- Unidad Administrativa Especial de Aeronáutica Civil. (s.f.). Reglamentos Aeronauticos de Colombiano PARTE 4. En *CAPITULO XXV AVIACION DEPORTIVA, numeral 4.25.8. AEROMODELISMO* (págs. 622,623). Bogotá.
- Universidad Los Libertadores. (2006). *Institucion Universitaria Los Libertadores*. Recuperado el 7 de Septiembre de 2014, de <http://www.ulibertadores.edu.co:8089/?idcategoria=7180>

Wikipedia. (17 de Febrero de 2014). *Wikipedia*. Recuperado el 22 de Febrero de 2014, de Wikipedia: <http://es.wikipedia.org/wiki/Helic%C3%B3ptero>

Wikipedia. (28 de Junio de 2014). *Wikipedia*. Obtenido de http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%A9lula_fotovoltaica

ZONNEPANELEN. (2013). Obtenido de <http://www.zonnepanelen-info.nl/zonnepanelen/rendement-zonnepanelen/>